51—57

11864(11)

动 物 学 研 究 1994，15（3）：51—57 CN 53-1040／Q ISSN 0254-5853
Zoological Research

高寒草甸三种雀形目雏鸟热调节机制的比较研究*

张 晓 爱
（中国科学院西北高原生物研究所 西宁 810001）

邓 合 黎
（四川重庆自然博物馆 630700）

Q959.739

A

摘要 3种不同巢型雏鸟大约在雏期的50%开始出现调温机制。从变温到恒温的转变期呈现出两种发育趋势：黄嘴朱顶雀发育迅速，角百灵和褐背拟地鸦发育缓慢。3种雏鸟产热量都随试验温度降低和日龄的增长而增加。但角百灵在35℃时，产热量不随日龄增长而变化。

关键词 高寒草甸，雀形目，雏鸟，热调节，产热量

本研究用同样方法比较同一环境中不同巢型鸟类：地面开放巢的角百灵(*Eremophila alpestris*)，灌丛开放巢的黄嘴朱顶雀(*Acanthis flavirostris*)及洞穴封闭巢的褐背拟地鸦(*Pseudopodoces humilis*)3种雏鸟的体温调节发育及相对产热量[kJ／(h·g)]是否相同，对研究雀形目雏鸟发育过程中能量分配的适应对策有重要意义。

1 材料和方法

本项研究于1987—1989年夏季在中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站进行。耗氧量用自己设计的封闭式自动补氧仪在夜间22：00到次日3：00期间测定(邓合黎，1991)。实验材料取自野外巢中自然状态下哺育并确知日龄的个体，逐日测定。每日傍晚亲鸟停止哺育后，将雏从巢中取出送往实验室，第2日清晨放回原巢。实验在15—35℃的范围内进行，每隔5℃为一梯度。每次测试角百灵10窝12只。朱顶雀7窝10只，地鸦4窝8只，测试前用扭力天平秤重，精确至0.01 g。实验前后用半导体点温计测量肛温(精确至0.1℃)作为测试温度下的体温。每次测试持续40 min，所得结果为标准代谢率(SWR)，雏鸟的相对产热量以 kJ／(h·g)表示(1 L 氧相当于 20.1 kJ，Ricklefs 等，1980)。

2 结果

2.1 雏鸟体温变化的比较

将35、25及15℃3种试验温度下，体温随日龄增长的变化示于图1。35℃时，3种雏鸟的体温变化非常相似，基本上在35—40℃的小范围内变化。当试验温度降到25℃时，

---

* 国家自然科学基金，930330中国科学院海北定位站基金资助项目
本文1993年11月22日收到，1994年1月30日修回

在雏期的40%—60%期间3种雏鸟的体温开始出现两种变化趋势。

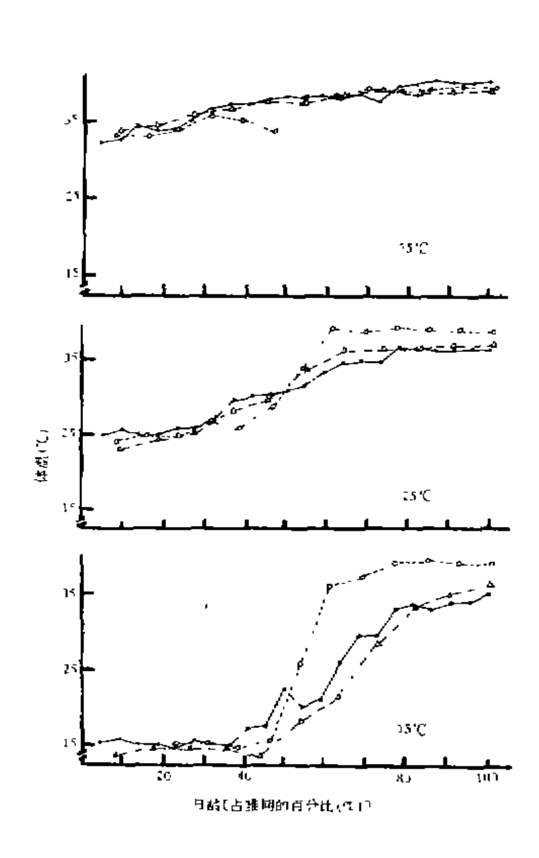


图1 3种雏鸟体温随日龄的变化

Fig.1 Change of the body temperature with age in 3 nestling species

△-·-·△ 角百灵 ○-----○ 黄嘴朱顶雀 ●——● 褐背拟地鸦

朱顶雀从体温最低上升到体温最高，并且维持在接近成体水平(约40℃)上。其余两种约在雏期的40%开始上升到35℃左右，在雏期60%以后则维持不变。在15℃时，3种雏鸟都在雏期的50%左右体温开始上升，但朱顶雀在雏期60%以后体温基本恒定。作体温与试验温度的回归分析(表1)，结果也表明体温不随试验温度而变化(相关不显著)，因而朱顶雀从变温到恒温只有一天左右的转变期。而地鸦直到出飞，体温始终随环境温度的变化而变化(相关非常显著)。角百灵只在离巢前一天相关不显著。

2.2 产热量变化的比较

2.2.1 产热量随日龄的变化 将3种雏鸟在不同试验温度下的产热量随日龄增长的变化示于图2。图中，角百灵在35℃、朱顶雀在30℃、地鸦在25℃时，产热量随日龄变化不明显。再作回归分析，结果(表2)表明：除角百灵雏鸟在35℃时相关不显著、低于此度为正增长外，其余种类在所有温度相关均显著。温度越低，斜率越高。说明产热量随日龄增加而增加。

2.2.2 产热量随试验温度的变化 3种不同日龄雏鸟产热量随环境温度的变化而变化(图3)。角百灵在5日龄前、朱顶雀在6日龄前，地鸦在10日龄前产热量随试验温度升高而增加，表现出变温动物特征。朱顶雀在8日龄后，角百灵在9日龄后，地鸦在17日龄后相对产热量随环境温度的上升而下降，表现出恒温动物的特征。3种雏鸟都在30℃时代谢率最低，为热中性温度。35℃时代谢率略有升高，与成体的标准代谢(SMR)随环境温度而变化(邓合黎等，1990)的情况相同。在以上列举的两组日龄之间是从变温到恒温的转变期，角百灵在6—8日龄，地鸦在11—16日龄出现倒"U"字型，说明随着日龄的增长，在一适宜温度区内热产生不随试验温度而变化、有一定的体温调节能力、是恒温机制初步形成的象征。

表 1　雏期各阶段雏鸟体温随试验温度变化的回归分析

Tab. 1　Regression analysis of the change in body temperature with age at various test temperatures

雏期阶段 (%)	种名								
	角百灵 *Eremophila alpestris*			黄嘴朱顶雀 *Acanthis flavirostris*			褐背拟地鸦 *Pseudopodoces humilis*		
	N	b	r	N	b	r	N	b	r
10	45	0.983	0.993	34	0.910	0.972	28	0.955	0.971
20	47	0.913	0.973	45	0.862	0.840	26	0.995	0.987
30	49	1.030	0.984	48	1.027	0.930	30	1.024	0.987
40	45	1.088	0.944	36	0.978	0.980	34	1.042	0.953
50	43	1.008	0.852	37	0.404	0.641	29	0.934	0.927
60	47	0.851	0.802	32	0.166	0.304*	27	0.650	0.865
70	47	0.487	0.668	45	0.119	0.320*	37	0.347	0.713
80	50	0.349	0.602	39	0.040	0.222*	43	0.394	0.713
90	41	0.179	0.491	40	0.053	0.260*	42	0.293	0.946
100	45	0.141	0.110*	34	0.031	0.212*	25	0.265	0.787

* $r_{(45)0.05}=0.288$, $r<r_{(45)0.05}$, $P>0.05$　　$r_{(32)0.05}=0.349$, $r<r_{(32)0.05}$, $P>0.05$　　$r_{(25)0.05}=0.381$, $r<r_{(25)0.05}$, $P>0.05$

表 2　在各种试验温度下产热量随日龄变化的回归分析

Tab. 2　Regression analysis the change in heat-produced amount with age at various test temperatures

试验温度 (℃)	种类								
	角百灵 *Eremophila alpestris*			黄嘴朱顶雀 *Acanthis flavirostris*			褐背拟地鸦 *Pseudopodoces humilis*		
	N	b	r	N	b	r	N	b	r
35	11	0.021	0.343*	13	−0.286	−0.685	22	−0.093	−0.793
30	11	0.109	0.801	13	−0.190	−0.573	22	−0.051	−0.697
25	11	0.224	0.874	13	0.219	0.739	22	0.041	0.452
20	11	0.425	0.889	13	0.501	0.805	22	0.137	0.745
15	11	0.541	0.887	13	0.727	0.876	22	0.199	0.896

* $r_{(9)0.05}=0.602$, $r_{(9)0.05}>r$, $P>0.05$

3 讨论

3.1 体温调节机制发育过程的比较

从研究结果(图 1)看，3 种雏鸟在雏期的 50%左右开始出现调温能力。这期间每种雏鸟的羽片开始散开、也正好完成体重快速增长的阶段，为绝热状况的改善创造了条件。这种情况与 O'Connor(1975)的描述非常相似。然而，从变温到恒温过程的转变所需时间有明显的种间差异(图 3)。朱顶雀在雏期的 60%以后体温变化不再受环境温度制约，只有一日的转变期，说明恒温机制发育迅速，角百灵在雏期末才出现体温基本恒定，地鸦出窝前的体温始终随环境温度的变化而变化，因此这两种雏的转变期较长分别为 6 d 和 13 d，恒

温机制的形成比前者缓慢得多。这两种发育趋势在前人的类似研究中也普遍存在，现分别归类于表 3。

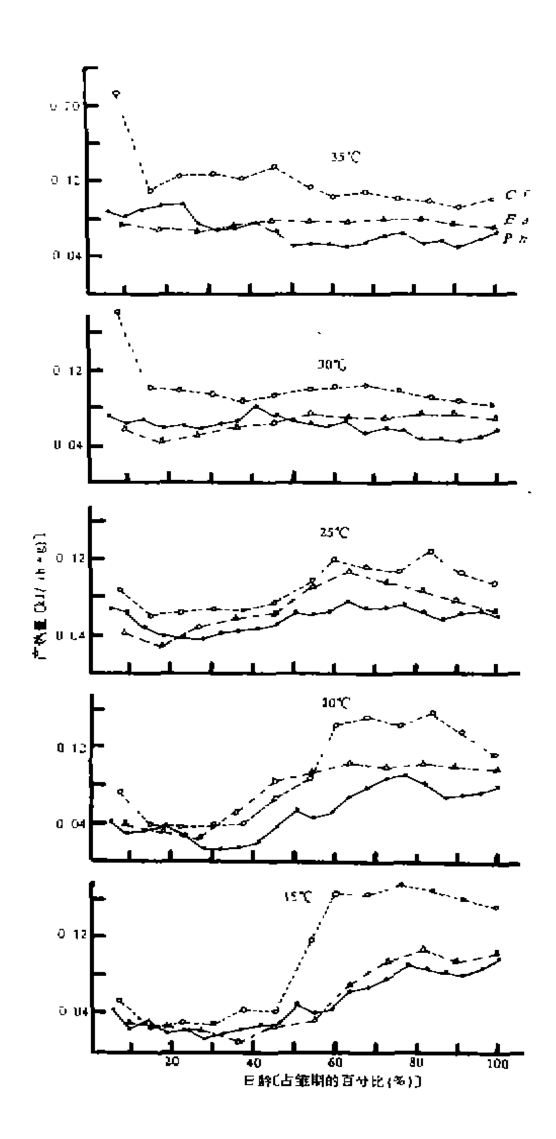
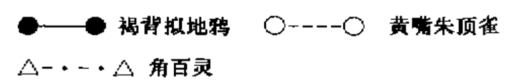


图 2 3 种雏鸟产热量随日龄变化

(图中温度为试验温度)

Fig. 2 Change of the body temperature with age in 3 nestling species



决定这两种发育型的选择因子是什么?目前由于可供比较的资料太少而无法确定。根据我们的资料分析与巢的小气候及个体大小有一定关系。如地鸦的洞穴封闭环境稳定(平均温差 2—4℃)，选择渐变的模式是容易解释的，但角百灵的开放巢环境极不稳定(平均温差 15℃)，为什么也变化缓慢呢?而界于两者之间的朱顶雀(巢温差 10℃)又发育迅速呢?因此我们又提出个体大小可能也是决定发育模式的一个重要因素。因为小个体有相对大的散热面积、因而个体小的朱顶雀发育迅速有利于增加雏鸟的存活。然而，表 3 中的原野雀鹀和褐斑翅雀鹀两种体重与朱顶雀相似，而且又是地面开放巢，为何又发育缓慢呢?因而，决定两种发育趋势的原因是一个十分复杂的问题，尚需从多方面的因素考虑。

Ricklefs(1974)指出，在 35℃ 条件下雀形目雏鸟最初具有较低的基础代谢率，在发育期间代谢率不断增加直至出飞前接近或超过成体水平。然而，我们的研究结果表明，角百灵在 35℃ 时雏鸟的标准代谢率是不随日龄的增长而变化，即相关不显著(表 2)。因此我们认为有些雀形目雏鸟在发育过程中是否存在最适生长温度，(The optimum growth temperature)，是值得注意的。O'Connor(1975)也认为 35—40℃ 时，雏鸟相对产热量随日龄增长而增加。但家麻雀在此温度区产热量不随日龄而变化，他认为是一个难以解释的例外。实际上 O'Connor 研究的青山雀、毛脚燕和家麻雀在 35℃ 和 40℃ 两个温度梯度的产热量与日龄变化之间有不相关值。李世纯等(1979)研究的树麻雀在 35℃ 时的耗氧量也不随日龄增长而变化。这些资料说明在自然状态下，雀形目雏鸟的发育过程中可能存在一

最适温度区，需要进一步研究。在这一温度区，雏鸟的代谢率处于较低水平，可以把更多的能量用于生长及其他生理功能的发育。

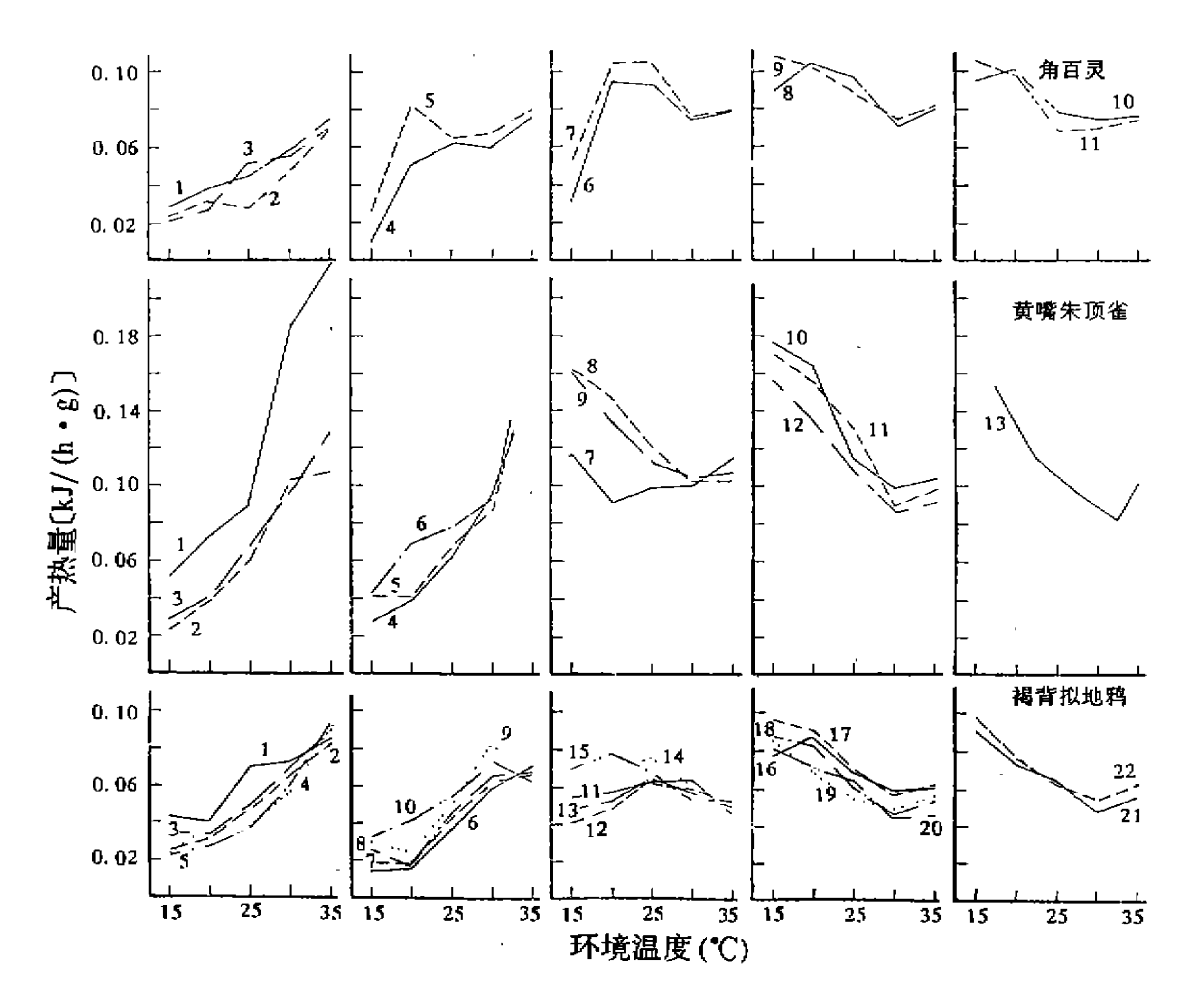


图 3　3 种雏鸟产热量随环境温度的变化(图内数字为日龄)

Fig. 3　Change of HPA with ambient temperature in 3 nestling species (the nubers are age in figure)

表3 晚成雏鸟体温调节机制发育型的比较

Tab. 3 Comparison of developments type in body temperature regulated mechanism for nestling altricial

发育型	种名	体重(g)	巢型		资料来源
缓慢	角百灵 *Eremophila alpestris*	34.5	地面	开放	本文
	褐背拟地鸦 *Pseudopodoces humilis*	36.0	洞穴	封闭	本文
	树麻雀 *Passer montanus*	22.0	洞穴	半开放	李世纯，1979
	家麻雀 *Passer domesticus*	28.0	洞穴	半开放	O'Connor，1975
	原野雀鹀 *Spizella pusilla*	12.0	地面	开放	Dawson，1957
	褐斑翅雀鹀 *Spizella passerina*	12.2	地面	开放	Dawson，1957
	黄昏雀鹀 *Pooecetes gramineus*	24.3	地面	开放	Dawson，1960
迅速	黄嘴朱顶雀 *Acanthis flawirostris*	12.5	灌丛	开放	本文
	棕头鸦雀 *Paradoxornis webbianus*	12.0	灌丛	开放	钱国桢，1977
	大苇莺 *Acrocephalus arundinaceus*	25.5	灌丛	开放	李世纯，1978
	青山雀 *Parus caeruleus*	11.5	洞穴	半开放	O'Connor，1975
	毛脚燕 *Delichon urbica*	19.4	洞穴	半开放	O'Connor，1975

另外热产生变化过程中角百灵和地鸦出现倒"U"字阶段，说明从变温到恒温的转变是逐渐形成的，朱顶雀无此阶段，也可以看成是区别两种发育型的证据。

参考文献

邓合黎，张晓爱，1990. 高寒草甸几种雀形目鸟类的标准代谢(SMR). 动物学报，36(4)：377—384.

邓合黎，张晓爱，林鸣，1991. 角百灵和长嘴百灵雏鸟的代谢和体温调节的发育 高原生物学集刊，10：135—142.

李世纯，刘炳谦，1978. 大苇莺雏鸟的耐寒性及体温调节. 动物学报，24(3)：251—253.

李世纯，刘炳谦，刘喜悦，1979. 麻雀雏鸟体温调节的发育 动物学报，25(4)：359—370.

钱国桢，王培潮. 1977. 鸟类恒温机制建立的初步观察. 动物学报，23(3)：212—218.

Dawson W R, F C Evans, 1957. Relation of growth and development to temperature regulation in nestling Field and Chipping sparrows. *Physiol. Zool.*, **30**: 315-327.

Dawson W R, F C Evans, 1960. Relation of growth and development to temperature regulation in nestling vesper sparrows. *Condor*, **62**: 329-340.

O'Connor R J, 1975. Growth and metabolism in nestling passerines. *Symp. Zool. Soc. Lond.*, **35**: 277-309.

Ricklefs R E, 1974. Energestics of reproduction in birds. In: R. A. Paynter, Jr., Ed. Avian energetics Publ. Nuttall Ornitnol. Club No. 15, 152-297.

Ricklefs R E, S White, J Cullen, 1980. Postnatal development of Leach's Storm-Petrel. *Auk*, **97**: 768-781.

A COMPARATIVE STUDY ON THERMOREGULATION OF THREE SPECIES PASSERINE NESTLING IN ALPINE MEADOW

Zhang Xiaoai

(*Northwest Plateau Institute of Biology, The Chinese Academy of Sciences, Xining* 810001)

Deng Heli

(*Chongqing Natural History Museum of Sichuan, China*)

Abstract

The study was conducted at Haibei Research Station of Alpine Meadow Ecosystem, Academia Sinica, during breeding seasons of *1987–1989*. The development of thermoregulation during the nestling period in three species were examined. The three species have different type–nest. They are Houned Lark (*Eremophila alpestris*) nesting on ground and open, Twite (*Acanthis flavirostris*) nesting in shrub and open, and Hum's Ground Jay (*Pseudopodoces humilis*) nesting in burrow and close. There were two developmental: modes in the process of a striking transition from an essentially poiklothermic condition to a state of homeothermy during the nestling period in three nestling species. The Twite was sharp mode, whereas the Hounded Lark and Hum's Ground Jay were gradual mode.

There was a optimun growth temperature in Houned Larkes at 35℃ that at which temperature the metabolism rates of nestlings during the developmental period did not vary with age increasing.

Key words Alpine meadow, Passerines, Nestling, Thermoregulation